

亚铝晶石复合骨料水基消失模涂料的制备及其性能研究

高 淼¹, 焦红卫¹, 范有雄¹, 陈 刚¹, 黄建波²

(1. 武汉软件工程职业学院, 湖北武汉 430205; 2. 湖北工程职业学院, 湖北黄石 435003)

摘要: 用亚铝晶石粉、石英粉、硅藻土作为复合耐火骨料, 以快干硅溶胶和聚乙烯醇(PVA)作为复合粘结剂, 钠基膨润土和黄原胶作为复合悬浮剂, 制备铸铁用水基消失模涂料。通过正交试验确定了涂料中各组分最佳配比。测试了涂料的各项性能, 观察分析了涂层的微观形貌和组织。结果表明: 涂层中耐火骨料颗粒均匀分布、结合紧密, 颗粒间形成的沟壑、孔洞相互连成一片, 这改善了涂层的透气性能, 防止了铸件表面气孔、碳缺陷的产生, 涂料综合性能良好。

关键词: 亚铝晶石粉; 复合粘结剂; 复合悬浮剂; 消失模涂料

消失模铸造过程不使用砂芯, 不需要取模, 没有分型界面, 因此具有余量小、精确度高、可批量化生产、生产效率高、低生产成本优势的成形特点, 是一种近成形的铸造工艺技术^[1]。近年来倍受国内外关注, 发展势头迅猛。据统计, 2019年我国消失模铸件产量已达170万吨, 同比增长10.1%, 具有自动化、半自动化生产的消失模铸造企业也在逐年递增, 但是在涂料技术上还存在着一定程度的短板。

涂料是消失模铸造的关键技术, 其性能的好坏直接决定着铸件的质量优劣^[2]。而国外消失模涂料价格较高, 国产消失模涂料存在储藏时间短、透气性差的问题, 这导致铸件表面质量不理想、内部不致密等缺点。部分企业采用自配涂料, 这导致各种铸造缺陷问题及生产成本高居不下, 因此急需研制一种成本低廉、性能优良的铸铁用水基消失模涂料。

1 试验原材料与预处理

1.1 试验原材料

(1) 主加耐火骨料。耐火骨料是涂料主体部分, 通常生产中小件铸铁件时, 选用石英粉作耐火骨料; 生产中大件铸铁件时选用铝矾土、亚铝晶石粉作为耐火骨料。考虑到单独使用石英粉作耐火骨料时, 涂料耐火度较差, 而单独使用铝矾土作耐火骨料时, 铸件表面光洁度较差, 因此本试验采用亚铝晶石粉和石英粉作为复合耐火骨料, 粒度分别为200目、325目。亚铝晶石粉是一种中性、高惰性、浅白色的耐火骨料, 其主要成分为57%~60% Al_2O_3 、33.5%~36.5% SiO_2 、3.5%~6.5% ZrO_2 , 具有较好的热稳定性、与高温金属液不润湿、较好的抗粘砂和涂层易剥离等性能、价格低廉^[3]。

(2) 辅加耐火骨料。为了充分吸收EPS泡沫产生的液态裂解产物以及保证涂层具有一定的保温性能, 防止消失模铸件表面碳缺陷、冷隔的产生, 本试验选用硅藻土为辅加耐火骨料。

(3) 粘结剂。为保证铸铁用水基消失模涂料具有较好的常温强度、高温强度以及涂挂性能, 涂料粘结剂应选用低温、高温粘结剂搭配使用。硅溶胶是一种高温粘

作者简介:

高 淼(1984-), 女, 硕士, 讲师, 主要研究方向为铸造涂料及铸造新材料。E-mail: hongan1986@sohu.com

中图分类号: TG249.5
文献标识码: A
文章编号: 1001-4977(2020)11-1207-05

基金项目:
湖北省教育厅科学技术研究项目(B2019419)。
收稿日期:
2020-05-06 收到初稿,
2020-07-21 收到修订稿。

结剂,可显著提高涂料的高温强度,本试验选用快干硅溶胶和聚乙烯醇(PVA)作为复合粘结剂。

(4)悬浮剂。选用钠基膨润土和黄原胶作为复合悬浮剂。

(5)载液。本试验选用自来水作为载液。

(6)添加剂。选用OP-10作为表面活性剂,正丁醇为消泡剂,苯甲酸钠作为防腐剂。

1.2 原材料预处理

钠基膨润土预处理:将钠基膨润土与水按照1:50的质量比快速搅拌成浆料,静置24 h待用。

黄原胶预处理:将黄原胶与水按照1:40质量比快速搅拌均匀,制得黄原胶水溶液,静置24 h待用。

聚乙烯醇(PVA)预处理:首先将称量好的聚乙烯醇(PVA)粉末与水按1:20的质量比加入到烧杯中,然后进行水浴加热,最终配制成10%浓度的PVA水溶液。

2 涂料性能的测试方法

涂料是消失模铸造工艺中的重要环节^[4],消失模铸造涂料性能的检测显得尤为重要,本试验采用以下方法对涂料的各项性能进行测定:

涂料粘度:采用 $\Phi 4$ mm涂杯法测定。

发气量:在直读式发气性测定仪上进行测定。

透气性:对STZ型直读式透气性测定仪的试样筒进行稍加改进^[5],然后用来测定涂层的常温透气性。

密度:采用量筒、天平配合称量法^[6]测定。

悬浮性:采用量筒静置法测定。

涂层强度:首先将涂料涂覆于玻璃板上,待涂层干燥后,用粘度杯向玻璃板上落砂,直至擦破涂层露出玻璃板为止,最后称出落砂总质量,作为判断涂层

表面强度的定量指标^[7]。

涂挂性:首先将EPS泡沫制备成 $100 \times 40 \times 20$ 的试样,然后在配好的涂料中反复浸渍两次后测定其质量,与未涂涂料之前泡沫质量之差即为附着量。观察试样表面涂层塌落现象,可以得出涂挂性是否良好,涂挂性分为I、II、III3个等级,依次是优、良、差的级别^[8]。

3 试验结果与分析

3.1 耐火骨料配比的选择

在涂料系统中,不同的耐火骨料配比,涂料性能差异明显,为了确定耐火骨料中各组分之间的最佳配比,现选取三种不同的耐火骨料组合,进行3组预试验,涂料配比、涂料性能测试结果分别如表1、表2所示。

从表2可以看出,在以上3组涂料中,涂料的24 h悬浮率均在90%以上,其中第三组涂料的悬浮率最高、透气性能最优,主要是因为亚铝晶石粉的密度比石英粉密度大,随着亚铝晶石粉加入量的减少,石英粉加入量的增加,涂料整体密度递减,从而使得涂料悬浮率有所提高;第一组涂料的涂层强度最高、涂挂性能最优;从涂层强度、涂挂性、附着量这三组数据来看,第一组均优于另外两组,因此本试验选用亚铝晶石粉50%、石英粉30%、硅藻土20%的耐火骨料配比。

3.2 涂料制备方法

首先将称量好的耐火骨料在碾轮式混砂机中快速搅拌均匀,然后缓慢加入快干硅溶胶、聚乙烯醇(PVA)水溶液、经过预处理的钠基膨润土浆料和黄原胶水溶液,混碾2 h后,再加入表面活性剂OP-10、消泡剂正丁醇、防腐剂苯甲酸钠以及适量水,将其混碾成膏状物后出碾待用。

表1 耐火骨料试验成分配比
Table 1 Test composition ratio of refractory aggregates

编号	主加耐火骨料		辅加耐火骨料	悬浮剂		粘结剂		表面活性剂	消泡剂	防腐剂
	亚铝晶石粉	石英粉	硅藻土	钠土	黄原胶	硅溶胶	PVA	OP-10	正丁醇	苯甲酸钠
1	50	30	20	4	0.5	4	1	适量	适量	适量
2	40	40	20	4	0.5	4	1	适量	适量	适量
3	30	50	20	4	0.5	4	1	适量	适量	适量

注:耐火骨料(亚铝晶石粉、石英粉、硅藻土)的总量为100%,其他各组分加入量均为占耐火骨料总质量的百分比。

表2 铸铁用水基消失模涂料主要性能
Table 2 Main properties of cast iron water-based lost foam coating

编号	耐火骨料	密度/(g·cm ⁻³)	24 h悬浮率/%	透气性	强度/g	涂挂性	附着量/g
1	50%的亚铝晶石粉+30%的石英粉+20%硅藻土	1.63	90	63	475.6	I	2.87
2	40%的亚铝晶石粉+40%的石英粉+20%硅藻土	1.56	94	105	431.2	II	2.25
3	30%的亚铝晶石粉+50%的石英粉+20%硅藻土	1.48	96	136	417.4	II	1.73

3.3 最佳配方的确定

因耐火骨料的最佳配比已经确定,为了进一步探讨复合粘结剂、复合悬浮剂中各组分对铸铁用水基消失模涂料性能的影响,确定各组分的最优加入量,本文共选择24 h悬浮率、条件粘度、发气量、透气性、涂层强度5个指标对涂料性能优劣进行综合评价,现采用四因素三水平 $L_9(3^4)$ 正交试验法,以减少试验次数,因素水平表、正交试验方案及结果分别表3、表4所示。

现对表4中的试验数据进行正交试验结果分析,分别计算出各因素在不同水平下的均值 k 和极差值 R ,结果如表5所示。

由表5可以看出,各因素在同一性能指标下的极差值各不相同,其中影响涂料悬浮性的最显著性因素是钠基膨润土,24 h悬浮率最优水平是 $A_3B_1C_3D_1$;影响涂料条件粘度的最显著性因素是快干硅溶胶,条件粘度的最优水平为 $A_2B_1C_3D_1$;影响涂料发气量的最显著性因素是黄原胶,发气量最优水平为 $A_1B_1C_1D_2$;影响涂料透气性的最显著性因素是PVA,透气性最优水平为 $A_3B_2C_1D_1$;影响涂料强度的最显著性因素是快干硅溶胶,强度最优水平为 $A_2B_2C_3D_2$ 。从表5还可以看出,各因素在不同水平下的24 h悬浮率均值都在90%以上,能很好地满足涂料使用要求,因此着重从强度、条件粘度、发气量、透气性四种涂料性能进行考虑,其最佳水平为 $A_2B_2C_3D_2$,即快干硅溶胶6%、PVA2%、钠基膨

润土6%、黄原胶1%,涂料各组分配比如表6所示。按照表6中的涂料配方将涂料配制好后,对涂料各性能指标分别进行测定,涂料性能测定值如表7所示,综合性能优越。

4 涂层形貌表征分析

为了对涂层的微观形貌和组织特征进行分析,现采用扫描电子显微镜分别在1 000倍、2 000倍放大倍数下对涂层的微观形貌进行对比性分析。

按照3.2中的涂料制备方法,将表6中的配方制备成成品涂料(密度 1.5 g/cm^3),采用浸涂方式涂覆涂料,在尺寸规格为 $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$ 的EPS模样表面反复浸涂-烘干($\leq 50 \text{ }^\circ\text{C}$)两次后,采用扫描电子显微镜对涂层的微观形貌进行观察、分析,其微观形貌图如图1所示。从图1a中可以看出,涂层中不同粒度的耐火骨料颗粒均匀分布其间且结合紧密,无聚集现象,但是耐火骨料颗粒间分布着大量凹槽和凹窝。为了探究清楚这些凹槽和凹窝的结构,现将凹窝周围局部放大2 000倍进行观察,如图1b所示。从图中可以看出,凹槽和凹窝的部分主要为沟壑,浇注时,涂层在高温金属液的热冲击作用下,沟壑中的有机粘结剂被迅速烧蚀,在涂层表面形成大量的孔洞,从而有效改善了涂层的透气性能,有助于浇注时产生的气体产物顺利排成型腔,保证了金属液的充型稳定,防止了铸件表面气孔、碳缺陷的产生。

表3 因素水平表 $L_9(3^4)$
Table 3 Factors and levels table of $L_9(3^4)$

因素	快干硅溶胶 (A)	PVA (B)	钠基膨润土 (C)	黄原胶 (D)	$w_B/\%$
水平1	5	1	4	0.5	
水平2	6	2	5	1.0	
水平3	7	3	6	1.5	

注:以上各组分加入量均为占耐火骨料(亚铝晶石粉、石英粉、硅藻土)总质量的百分比。

表4 正交试验方案及结果
Table 4 Orthogonal experiment scheme and results

试验方案	24 h悬浮率/%	条件粘度/s	发气量/($\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$)	透气性	强度/g
$A_1B_1C_1D_1$	95	10.88	19.8	14.5	515
$A_1B_2C_2D_2$	90	17.72	22.3	12.2	791
$A_1B_3C_3D_3$	94	13.68	27.4	10.5	670
$A_2B_1C_2D_3$	91	15.11	27.2	11.8	710
$A_2B_2C_3D_1$	94	9.74	31.5	13.7	942
$A_2B_3C_1D_2$	92	14.16	18.9	11.9	835
$A_3B_1C_3D_2$	98	18.23	21.4	12.6	782
$A_3B_2C_1D_3$	93	16.82	30.3	15.1	746
$A_3B_3C_2D_1$	94	21.47	29.5	13.2	654

表5 正交试验结果分析
Table 5 Analysis of orthogonal experiment results

指标		A (快干硅溶胶)	B (PVA)	C (钠基膨润土)	D (黄原胶)
24 h悬浮率/%	k_1	93.0	94.7	93.3	94.3
	k_2	92.3	92.3	91.7	93.3
	k_3	95.0	93.3	95.3	92.7
	R	2.7	2.4	3.6	1.6
条件粘度/s	k_1	14.1	14.7	14.0	14.0
	k_2	13.0	14.8	18.1	16.7
	k_3	18.8	16.4	13.9	15.2
	R	5.8	1.7	4.2	2.7
发气量/($\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$)	k_1	23.2	22.8	23.0	26.9
	k_2	25.9	28.0	26.3	20.9
	k_3	27.1	25.3	26.8	28.3
	R	3.9	5.2	3.8	7.4
透气性	k_1	12.4	13.0	13.8	13.8
	k_2	12.5	13.7	12.4	12.2
	k_3	13.6	11.9	12.3	12.5
	R	1.2	1.8	1.5	1.6
强度/g	k_1	658.7	669.0	698.7	703.7
	k_2	829.0	826.3	718.3	802.7
	k_3	727.3	719.7	798.0	708.7
	R	170.3	157.3	99.3	99.0

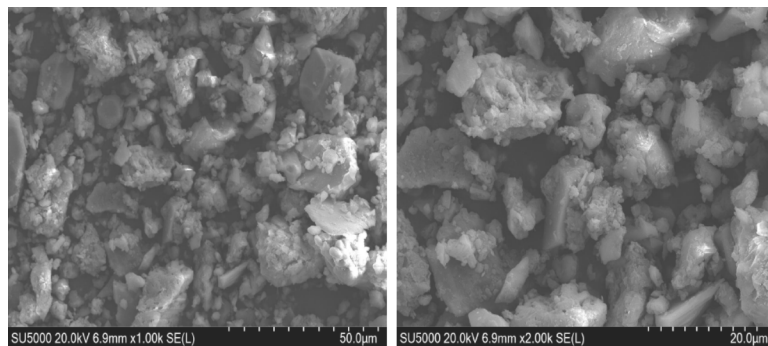
表6 铸铁用水基消失模涂料配方
Table 6 Formulation of water-based lost foam coating for cast iron

耐火骨料/%			悬浮剂/%		粘结剂/%		表面活性剂	消泡剂	防腐剂	溶剂
亚铝晶石粉	石英粉	硅藻土	钠土	黄原胶	快干硅溶胶	PVA	OP-10	正丁醇	苯甲酸钠	水
50	30	20	6	1.0	6	2	适量	适量	适量	适量

注：耐火骨料（亚铝晶石粉、石英粉、硅藻土）的总量为100%，其他各组分加入量均为占耐火骨料总质量的百分比。

表7 铸铁用水基消失模涂料性能测定值
Table 7 Properties of water-based lost foam coatings for cast iron

密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	24 h悬浮率/%	条件粘度/s	发气量/($\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$)	透气性	附着量/g	涂层强度/g
1.45	95	11.24	25.5	83	1.44	852



(a) 1 000 ×

(b) 2 000 ×

图1 涂层微观形貌

Fig. 1 Morphology of coating

5 结论

(1) 本铸铁用水基消失模涂料的较优骨料配比为亚铝晶石粉50%、石英粉30%、硅藻土20%；复合粘结剂、复合悬浮剂的最优加入量分别为快干硅溶胶6%、PVA2%、钠基膨润土6%、黄原胶1%。

(2) 影响涂料悬浮性的最显著性因素是钠基膨润土；影响涂料条件粘度和强度的最显著性因素是快干硅溶胶；影响涂料发气量的最显著性因素是黄原胶；影响涂料透气性的最显著性因素是PVA。经过对最优涂料进行各项性能测试表明，涂料综合性能良好。

(3) 涂层中不同粒度的耐火骨料颗粒均匀分布、结合紧密，凹槽和凹窝的部分主要为沟壑。浇注时，涂层在高温金属液的热冲击作用下，沟壑中的有机粘结剂被迅速烧蚀，在涂层表面形成大量的孔洞，从而有效改善了涂层的透气性能，防止了铸件表面气孔、碳缺陷的产生。

参考文献:

- [1] 樊自田, 蒋文明. 消失模铸造技术现状及发展趋势 [J]. 铸造, 2012 (6): 583-591.
- [2] 李大明. 消失模铸造水基涂料的工艺性能研究 [D]. 西安: 西安理工大学, 2011.
- [3] 徐峰, 冯小明, 刘艳, 等. 消失模铸钢醇基涂料的开发 [J]. 特种铸造及有色合金, 2014, 34 (5): 519-520.
- [4] 石晶玉, 黄天佑. 消失模铸造涂料性能测试方法的研究进展 [J]. 铸造, 2002, 51 (2): 76-78.
- [5] 吴国华, 丁文江, 罗吉荣. 凹凸棒粘土对消失模涂料流变性的影响 [J]. 硅酸盐学报, 2002, 30 (1): 81-85.
- [6] 王桂红. 凸轮轴消失模铸造涂料的研制 [J]. 热加工工艺, 2008, 37 (3): 22-24.
- [7] 黄建波, 张留伟, 汪磊. 铝合金消失模铸造用醇基涂料研究 [J]. 特种铸造及有色合金, 2018, 38 (3): 280-281.
- [8] 郭广思, 贾伟涛. 消失模铸钢水基涂料的研制 [J]. 特种铸造及有色合金, 2011, 31 (6): 42-45.

Preparation and Properties of Water Based Lost Foam Coating with Aluminite Composite Aggregate

GAO Miao¹, JIAO Hong-wei¹, FAN You-xiong¹, CHEN Gang¹, HUANG Jian-bo²

(1. Wuhan Software Engineering Vocational College, Wuhan 430205, Hubei, China; 2. Hubei Engineering Vocational College, Huangshi 435003, Hubei, China)

Abstract:

Water based EPC coating for cast iron was prepared by using aluminite powder, quartz powder and diatomite as composite refractory aggregate, quick drying silica sol and polyvinyl alcohol (PVA) as composite binder, sodium bentonite and xanthan gum as composite suspending agent. The optimum ratio of each component in the coating was determined by orthogonal test. The properties of the coating were tested, and the morphology of the coating was observed. The results show that the refractory aggregate particles are evenly distributed and closely combined, and the grooves and holes formed between the particles are connected together, which improves the air permeability of the coating, prevents the occurrence of blowholes and carbon defects on the surface of the casting, and the comprehensive properties of the coating is good.

Key words:

aluminite powder; composite binder; composite suspension agent; lost foam coating